

# Cambio tecnológico, análisis económico e historia

## La aportación de Nathan Rosenberg.

● JOSEP M<sup>a</sup> VEGARA CARRIÓ  
Universitat Autònoma de Barcelona

### 1. Introducción

Nathan Rosenberg estudió economía en diversas universidades norteamericanas, así como en Oxford, doctorándose en la University of Wisconsin en 1955.

Ha sido editor del *Journal of Economic History*, (1972-74). Desde 1974 es profesor en la Universidad de Stanford, habiendo sido director del Departamento de Economía, así como de diversos Programas especiales (Stanford Program on Values, Technology and Society, Stanford Program on Public Policy y, últimamente, el Program on Technology and Economic Growth).

Ha publicado los siguientes libros: la recopilación de artículos *The Economics of Technological Change* (1971); *Technology and American Economic Growth* (1972); *Perspectives on Technology* (1976); *Inside the Black Box: Technology and Economics* (1982); *How the West Grew Rich. The Economic Transformation of the Industrial World* (1986), escrito en colaboración con L.E. Birdzell; *Technology and the Pursuit of Economic Growth* (1989), obra conjunta con D.C. Mowery. Su obra más reciente es *Exploring the Black Box* publicada en 1994.

Ha complementado su actividad investigadora con la de asesor de numerosos organismos internacionales (OCDE, Banco Mundial, OIT, OTA, etc) y de diversos países.

Su línea de trabajo se caracteriza por una intensa integración del cambio tecnológico, el análisis económico y el contexto histórico.

Las *Introducciones* y los *Prefacios* a algunos de sus libros –de autoría única o en colaboración– proporcionan pistas, en ocasiones muy claras, sobre la concepción que Nathan Rosenberg tenía y tiene del carácter de su trabajo.

El libro **Perspectives on Technology**, (1976,d) comprende un conjunto de artículos publicados entre 1963 y 1974; en su *Introducción* Rosenberg precisa que la génesis

de los diversos trabajos: *“Tuvieron su origen en mi interés por los procesos de desarrollo económico a largo plazo, en especial por el comportamiento de sociedades en vías de industrialización.”* (1976,d) p.1.

Por otra parte, especifica los condicionantes genéricos y las dos influencias básicas que incidieron en la orientación de su trabajo:

*“La forma y directrices que estos capítulos han tomado reflejan dos influencias básicas: 1) el conocimiento, cada vez mayor, de la importancia crucial de los fenómenos tecnológicos en la generación del crecimiento económico ... ; 2) un sentimiento cada vez mayor de que, a pesar de la orientación básica y de las visiones pertinentes de los fenómenos tecnológicos proporcionados por la economía neoclásica en la que he sido educado, una comprensión más rica y profunda de estos fenómenos exige una voluntad de superar las limitadas fronteras de este modo de razonar”.* (1976,d) p.9.

La principal consecuencia que deriva de todo ello sobre su orientación profesional se halla expresada con claridad: *“En pos de este empeño, creo que es correcto decir que me convertí en un historiador económico, un historiador novicio de la tecnología, y en un ávido (pero altamente selectivo) lector de la literatura de temas próximos y afines.”* (1976,d) p.9<sup>1</sup>.

Este enfoque le condujo a descubrir la variedad, la diversidad que encierra la expresión “Tecnología” y la necesidad de proceder a análisis detallados, monográficos. Por otra parte, no debe estudiarse el cambio tecnológico al margen de su contexto; es decir, en sus propias palabras: *“El cambio tecnológico, desde luego, encierra una colección muy compleja y amplia de actividades humanas... Esta heterogeneidad vuelve claramente sospechoso todo intento de hablar sobre tecnología y sus consecuencias en conjunto... Debe pasarse de lo general a lo específico, de “Tecnología” a “tecnologías”.*

Es más, su posición metodológica comporta un rasgo muy singular puesto que sostiene que *“Incluso hay que estar preparados para ‘ensuciarse las manos’ para adquirir familiaridad con los detalles importantes de la tecnología misma. Sólo de esta forma es posible desarrollar una apreciación de las características de tecnologías particulares y de las consecuencias que nacen (o no logran nacer de ellas).”* (1976,d) p.10.

El Prefacio del libro de 1982, **Inside the black box**, contiene también varias claves que permiten precisar su problemática y algunos aspectos de su método; aunque las afirmaciones se refieran al libro, pueden extrapolarse legítimamente al conjunto de su obra: *“El propósito central de este libro puede expresarse muy sencillamente. Los economistas han tratado, durante mucho tiempo, los fenómenos tecnológicos como hechos que acontecen dentro de una caja negra ....los profesionales de la economía se han adherido, de forma bastante estricta, a la norma autoimpuesta de no averiguar demasiado en serio lo que sucede dentro de la caja.”* (1982,d) p.11.

1. La paginación de (1976,d) y de (1982,d), corresponde a la de la edición castellana.

En definitiva, Rosenberg precisará, de modo inequívoco, que *“El propósito de este libro es abrir la caja negra, examinar su contenido y ver cuál es el cambio tecnológico que ha sido olvidado por los economistas. Creo que, de este modo, se pueden esclarecer un importante número de problemas económicos, ya que los rasgos específicos de ciertas tecnologías tienen ramificaciones en fenómenos económicos que no pueden comprenderse si no se determinan con profundidad aquellas características”* (1982,d) p.11. Por otra parte, nuestro autor sintetiza del siguiente modo su recorrido intelectual y profesional: *“Este libro (1982,d), en muchos aspectos, es una continuación de la empresa intelectual de mi anterior libro, **Perspectives on Technology**”*, (1976,d).

En **Inside the Black Box** (1982,d) explica que *“En la Introducción de mi anterior libro afirmaba que mi interés por el desarrollo tecnológico tuvo el efecto de transformar a un economista en un historiador económico. Ahora estoy inclinado a decir que una gran parte del contenido del presente libro puede leerse como la meditación de un historiador económico que ha tropezado –¡no del todo por accidente!– con el siglo XX. En atención a los historiadores económicos que piensan que son jóvenes y que dan por supuesto que estudiar historia es estudiar algún pasado remoto, debo puntuar que el siglo XX es, ya, historia en su mayor parte”* (1982,d) p.14<sup>2</sup>.

En el Prefacio de su reciente obra **Exploring the Black Box**, (1994,a), Rosenberg subraya su continuidad intelectual con la obra anterior. En la “Introducción” expresa claramente que *“he titulado este libro **Exploring the black box** con el fin de subrayar su continuidad intelectual con una obra anterior, **Inside the Black Box**.*

Las publicaciones de N.Rosenberg contienen pocas precisiones metodológicas explícitas; su obra constituye, de hecho, el despliegue de su método. No obstante, su interés por los trabajos realizados en la profesión se pone de relieve en la recopilación de artículos **The Economics of Technological Change**, (1971,c). Por otra parte y en relación con el enfoque neoclásico, nuestro autor no se plantea la necesidad de desarrollar una alternativa global al mismo; del desarrollo de su propio trabajo surge, no obstante, la necesidad de revisar aspectos concretos, de entre los que destacan<sup>3</sup>: a) el conocimiento global, sin restricciones, de las microfuciones de producción; b) el carácter singular de la información tecnológica y su consideración inadecuada en términos de bien público; c) la necesidad de considerar la obtención de información, p.e. relativa, a las nuevas alternativas tecnológicas, como una actividad costosa. d) la

2. Las exigencias de espacio no permitirán reproducir la riqueza de la información histórica y tecnológica que sustenta las aportaciones de nuestro autor.

3. Véase, por ejemplo (1975,b), (1985,b), (1988,d) y (1989,b); véanse las Secciones [2] y [5] del presente texto.

contabilidad del crecimiento', la descomposición del mismo en un conjunto de factores causales<sup>4</sup>.

## 2. La conceptualización del cambio tecnológico.

Nuestro autor ha formulado un cierto número de aportaciones conceptuales que impregnan su enfoque analítico. Veamos algunos de los más significativos<sup>5</sup>.

*2.1. Cambio tecnológico y sustitución.* Rosenberg no comparte la hipótesis común que supone conocida la función de producción en toda su amplitud: a lo sumo se conoce – sostiene (1975,b)– un entorno del punto que corresponde a la tecnología que se utiliza, pues la producción de conocimiento es, generalmente, una actividad costosa.

De hecho, esta afirmación está cargada de implicaciones para el análisis del cambio tecnológico; en efecto, *"Y cuando sólo se conoce un pequeño campo de técnicas alternativas ¿qué resulta de la distinción fundamental entre sustitución de factor y cambio tecnológico? Si, en respuesta a un cambio en el factor precios, una empresa tiene que comprometer recursos para establecer nuevas combinaciones ¿no debería describirse la actividad conducente al nuevo conocimiento como cambio tecnológico y no como sustitución de factor?"* (1975,b) p.76. La distinción no es sólo, ciertamente, terminológica y se halla cargada de implicaciones; véase, por ejemplo (1992,b).

*2.2. Interdependencias tecnológicas.* El énfasis en las interdependencias (1979,a) constituye otro rasgo distintivo del marco conceptual de nuestro autor. La interdependencia puede surgir de la complementariedad, de los efectos acumulativos de mejoras menores o de las relaciones interindustriales.

*a) complementariedad.* Con frecuencia, la viabilidad de un invento depende de la disponibilidad de un conjunto de tecnologías complementarias. El conjunto de transformaciones que afectó a la agricultura y la ganadería, a los distintos tipos de transporte y de conservación (refrigeración), por ejemplo, hizo posible la constitución del mercado mundial de producto alimenticios. Este ejemplo permite poner de relieve otro

4. Desde una posición de aceptación inicial, Rosenberg ha evolucionado hacia posiciones críticas; véase (1982,b) y (1986,e).

5. El primer capítulo de (1982,d) contiene *"un amplio estudio de la literatura histórica sobre el desarrollo económico"* publicado, inicialmente en 1978 (1978,c); en su presentación, Rosenberg subraya que *"No debería ser necesario insistir en que la historia es una fuente de información indispensable para cualquiera que esté interesado en la caracterización de las tecnologías y que los determinantes y las consecuencias de la innovación tecnológica presentan temas que van mucho más allá del dominio, generalmente reconocido, del economista y del historiador económico"* (1982,d) p.17.

El panorama contiene algunas referencias que se han transformado, mercedamente, en clásicos del tema: David, Habakkuk, Kuznets, Landes, Mansfield, Rostov, Salter, Schmookler y White, además de Marx y Schumpeter, por citar sólo algunos autores. Parecería adecuado iniciar este artículo comentando dicho trabajo; no obstante, no es ésta mi intención por cuanto constituye una labor inviable sintetizar un texto que es, a su vez, un panorama resumido de una amplia literatura historiográfica. Algunos temas serán objeto de análisis por parte del propio Rosenberg y serán comentados en el presente trabajo.

punto central: la rentabilidad social de una innovación difícilmente puede identificarse de modo aislado, ya que la unidad relevante de análisis es el *racimo de innovaciones* del que forma parte.

b) *efectos acumulativos de mejoras menores*. Una parte relevante del desarrollo de una tecnología, a lo largo de su ciclo de vida, es debido –como se ha mencionado ya– a un serie de pequeñas mejoras, escasamente espectaculares pero cuyos efectos acumulativos resultan relevantes. Se trata de mejoras en el diseño, en el manejo de materiales, el mantenimiento, los costes de reparación, la reducción de la fricción, la sustitución de materiales, etc.

c) *relaciones interindustriales*. Como consecuencia de las interdependencias interindustriales, los resultados de una innovación pueden tener impactos relevantes en otros sectores: este hecho debe tenerse muy presente y ser objeto de análisis<sup>6</sup>.

2.3. *Bienes de capital y tecnología*. Nuestro autor se plantea en (1963,c) la siguiente cuestión: si en los USA, la escasez relativa de mano de obra ha suscitado el desarrollo de una tecnología ahorradora de trabajo ¿por qué la escasez relativa de capital no ha provocado –en los países subdesarrollados– el desarrollo de tecnologías ahorradoras de capital?

La respuesta la halla en las particularidades de la industria de bienes de capital que, ciertamente, juega un papel central en el proceso de innovación. Sus economías de especialización exigen un alto nivel de demanda. En el sector de referencia no sólo importa el sesgo ahorrador de capital o de trabajo sino también la eficacia con la que son producidos los bienes de capital. Rosenberg destaca, por otra parte, que “*El fundamental punto analítico es que cualquier reducción de costes en el sector de bienes de capital –sea directamente de ahorro de trabajo o de ahorro de capital en su proporción de factor– es una innovación de ahorro de capital para la economía en su conjunto*” (1963,c) p.163. En los países subdesarrollados, simplemente, no ha existido una industria de bienes de capital por insuficiencia de demanda. El “*fracaso en conseguir un sector de bienes de capital bien desarrollado significa el fracaso en proporcionar la base de las cualificaciones y conocimientos técnicos necesarios para el desarrollo de técnicas de ahorro de capital y por tanto un reforzamiento de su estado de retraso técnico*” (1963,c) p.165. Sin un sector de bienes de capital potente falta la base indispensable para imprimir sesgos en una u otra dirección.

2.4. *El aprendizaje por medio del uso*. Las investigaciones de nuestro autor le han conducido a elaborar el concepto de *aprendizaje por el uso* (1982,f), es decir aquél que surge de la experiencia derivada de la utilización efectiva de un sistema por parte del usuario final –de un avión de transporte, p.e.– y que se contrapone al *aprendizaje por*

6. Véase el análisis clásico de A. Carter, *Structural Change in the American Economy*, Harvard University Press, Cambridge, 1970.

7. Véase K. Arrow, “The Economic Implications of Learning by Doing”, *Review of Economic Studies*, junio 1962; el aprendizaje por la práctica se expresa de modo sintético por medio de la reducción de los costes unitarios en función del tiempo o bien de la producción acumulada.

la *práctica* que realiza el productor en el propio proceso de producción<sup>7</sup>. Esta modalidad de aprendizaje se halla asociada a los bienes de capital que constituyen sistemas complejos y cuyos diversos subsistemas se hallan sujetos a complicadas interacciones, operando bajo condiciones de esfuerzo prolongado.

El paradigma civil de estos sistemas es el avión moderno. Las prestaciones finales del mismo no pueden formularse con precisión más que después de un uso efectivo prolongado, puesto que las diversas disciplinas científicas no están en condiciones de resolver los problemas que surgen. El uso prolongado permite determinar o alterar aspectos del diseño, fijar las condiciones óptimas de vuelo, las reglas de mantenimiento, así como otros aspectos que en el diseño inicial poseen todavía una alta dosis de incertidumbre. La práctica de la extensión (*stretching*) de los diseños de los aviones, o sea, el incremento de sus dimensiones sin modificación radical de su diseño y tecnología, guarda una estrecha relación con la reducción de incertidumbre, con la confianza generada por el aprendizaje mediante el uso<sup>8</sup>.

2.5. *Cambio tecnológico dependiente de la trayectoria*. El esquema conceptual emerge cuando nuestro autor se plantea las dos cuestiones siguientes: en primer lugar, qué puede afirmarse sobre el modo de crecimiento del stock de conocimientos tecnológicos y, en segundo lugar ¿A qué factores responde y de qué modo?

Rosenberg (1994,b) anticipa que los aspectos principales del mencionado stock sólo puede explicarse en el contexto de su historia. Dicho de otro modo, existe: “*un fuerte grado de dependencia de la trayectoria (path), en el sentido de que no se puede demostrar la dirección o el camino seguido por el crecimiento del conocimiento tecnológico por simple referencia a ciertas condiciones iniciales.*” (1994,a) p.11<sup>9</sup>.

Las innovaciones radicales como la central eléctrica, el transistor y el ordenador han abierto el campo a innovaciones sucesivas; ahora bien, éstas no podían anticiparse por cuanto dependían de determinadas trayectorias concretas, dadas; en particular, las trayectorias no se hallan exentas de discontinuidades, como ejemplifica el hecho de que la evolución de la válvula de vacío no hubiera conducido al transistor: éste representa una ruptura en el desarrollo de aquélla. Así pues, la secuencias históricas son relevantes.

### 3. Ciencia y tecnología

La clarificación de la especificidad, de las características propias de la Ciencia y la Tecnología es uno de los temas centrales del análisis de Rosenberg; no se trata de un ejercicio escolástico sino de un tema clave para comprender la dinámica de la innova-

8. La historia del DC-3 es especialmente significativa de este proceso. Nuestro autor indica otros posibles campos en los que el aprendizaje por el uso juega un papel importante: destaca las centrales eléctricas (entre los sistemas físicos) y el software (entre los sistemas simbólicos).

9. Véase en (1992,b) diversos ejemplos de cambio tecnológico “dependiente de la trayectoria”; en (1992,f) un análisis del sector químico y en (1994, f) un análisis de las telecomunicaciones que incluye esta perspectiva.

ción y, en definitiva, del cambio tecnológico y sus relaciones con el desarrollo económico.

### **Ciencia exógena, ciencia endógena.**

La posición de nuestro autor (1982,g) en relación con este complejo tema es muy elaborada; ha sido objeto de sucesivos análisis sin modificar el hilo conductor básico. Así, una primera afirmación resulta clarificadora: *“Una de las consecuencias más engañosas de pensar que la tecnología es una mera aplicación del conocimiento científico previo es que esta perspectiva oscurece un punto muy elemental: la tecnología es, por sí misma, un cuerpo de conocimiento acerca de ciertas clases de sucesos y actividades. No es la mera aplicación de un conocimiento extraído de otras esferas”* (1982,d) p.14. Se trata de conocimientos operativos, que cumplen sus objetivos aunque, con frecuencia, no se conozca su fundamento: es conocimiento que puede haberse acumulado por simple experiencia empírica.

Ciertamente, la tecnología constituye un enorme depósito de conocimientos y de experiencia, de materia prima para la ciencia. Es más, con frecuencia, los límites del desarrollo tecnológico marcan las pautas por las que discurre la investigación científica. En definitiva: *“...la agenda de la investigación científica está estrechamente vinculada a las necesidades tecnológicas en marcha de la industria”* (1982,d) p.156.

La tecnología, por otra parte, incide en la ciencia proporcionando elementos básicos para su avance. Un instrumental sin el que no sería posible el avance científico; el ejemplo moderno más polivalente es, sin duda, el ordenador.

El desarrollo tecnológico se halla ante barreras y límites que conforman con fuerza la agenda de la ciencia, es decir, muchos de los retos que debe afrontar. Más concretamente: *“Uno de los rasgos centrales de las industrias de alta tecnología es precisamente este modelo: el progreso tecnológico identifica, en formas no ambiguas, las orientaciones de la nueva investigación científica ofreciendo un alto potencial de retorno”* (1982,d) p.151. Nuestro autor se pregunta por qué el desarrollo tecnológico juega el papel indicado en la orientación de la actividad científica: su respuesta se sitúa *“Principalmente por la obvia pero apremiante insinuación de reembolsos potenciales, financieros o sociales de esta investigación”* (1982,g) p.151. En definitiva, *“Creo que el proceso de industrialización transforma la ciencia en una actividad cada vez más endógena al aumentar su dependencia de la tecnología. He argumentado que las consideraciones tecnológicas son el determinante principal para la asignación de los recursos científicos. Así pues, sugiero que un modelo prometedor para comprender los avances científicos es el que combina la ‘lógica’ del progreso científico con la consideración de los costes y de las remuneraciones que fluyen de la vida diaria y que están vinculados a la ciencia a través de la tecnología”* (1982,d) pp.161/62.

Un trabajo reciente de Rosenberg (1993) incluye una afirmación especialmente clarificadora en los siguientes términos: *“... los acontecimientos en la esfera economi-*

ca han jugado un papel de primer orden en dar forma a la agenda y, en consecuencia, a los eventuales hallazgos de la ciencia pura." (1993) p.175. Por otra parte, si bien es cierto que, en general, las invenciones surgen como consecuencia de intentos de resolver algunos problemas concretos, bien delimitados, una vez producida la invención, a menudo, la solución muestra tener importantes aplicaciones en otros campos completamente imprevistos.<sup>10</sup>

### Ciencias, demanda e invención.

Como es bien conocido, el enfoque de Schmookler privilegia el papel de la demanda y de sus variaciones, como factor explicativo de la dinámica de la invención (1974,a)<sup>11</sup>. No niega el papel de la ciencia y la tecnología pero considera que, debido a su carácter polivalente, a su versatilidad, no es crucial en cuanto a determinar la dirección del cambio; así pues –desde este punto de vista– el contenido concreto y la evolución de las diversas ciencias y tecnologías no resulta relevante.

Rosenberg polemiza con esta concepción<sup>12</sup>, subrayando que los costes de invención son distintos según las industrias; que "*aunque las fuerzas y motivos económicos de modo inevitable han desempeñado un papel principal en formar la dirección del progreso científico, no han actuado dentro de un vacío, sino dentro de los cambiantes límites y restricciones de un cuerpo de conocimientos científicos que crece a ritmos desiguales entre las subdisciplinas que lo componen*" (1974,a) p.295.

Esto es así, por cuanto la ciencia es un conjunto, más o menos articulado, de ciencias sectoriales; no es un *pool* homogéneo del que se extraen los conocimientos necesarios en cada momento. En palabras del autor: "*La principal objeción que he planteado es que los inventos no son igualmente posibles en todas las industrias. Esto sucede porque existe una variable decisiva que interviene: el desarrollo diferencial del estado de subdisciplinas de la ciencia ... es muy importante que dejemos de hablar del estado de la ciencia y empezar a pensar en función de las ciencias*" (1976,a) p.303. Recuerde el lector que Rosenberg, en la *Introducción* de (1976,d), insistía en la necesidad de pasar "*de lo general a lo específico, de "Tecnología" a "tecnologías"*". Para captar la diversidad y evitar la agregación superficial ahora extiende dicha necesidad al caso de las ciencias.

### Mecanismos de inducción.

Rosenberg se plantea (1969,b) la identificación de las fuerzas que explican las direcciones en las que ha evolucionado la actividad investigadora. Su punto de partida es

10. Esta es una de las mayores dificultades que debe afrontar el "*technology assessment*".

11. Véase (1974,a). J. Schmookler, *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press, Cambridge, 1966.

12. No obstante, Rosenberg tenía en alta estima el rigor y la contribución de Schmookler: véase el sintético comentario contenido en (1987,b).



claro: “*El mecanismo del mercado no proporciona incentivo para buscar invenciones que tengan un determinado carácter de factor ahorro*” (1969,b) p.121. Nuestro autor, polemiza pues con la conocida posición de Hicks. Concretamente, Rosenberg afirma que “*Los incentivos fundamentales son en esencia económicos; pero, ... (éstos) son tan difusos y generales que no explican mucho en términos de la determinada secuencia y tiempo de la actividad renovadora ... Las tecnologías complejas crean compulsiones y presiones internas*” (1969,a) p.123.

Así, la solución de un problema o la mejora de una prestación (el aumento de la potencia de los motores,p.e.) exige resolver otros (mejorar el frenado,p.e.) para que el conjunto tenga un funcionamiento compensado. Otros mecanismos son extratecnológicos: así, nuestro autor identifica los dos siguientes: *a)* la resistencia de la mano de obra y, en especial, las amenazas de huelga operó como un potente mecanismo en la dirección de la mecanización y del ahorro de mano de obra; *b)* la eliminación o la práctica reducción de la disponibilidad de una materia prima sin substitutos conocidos; el caso más patente es el derivado de un conflicto bélico. Su análisis se halla pues alejado de todo economicismo; se trata de un enfoque fecundo que permeabiliza el conjunto de la obra de Rosenberg.

Un nuevo análisis sobre las relaciones entre Ciencia y Tecnología es expuesto en (1991,a). Rosenberg destaca el hecho, paradójico, de que en las industrias de alta tecnología el papel de “guía” que juega la ciencia es limitado: existen problemas que frenan el avance tecnológico y que no han sido resueltos debido, precisamente, a una insuficiente comprensión científica; éste es el caso de la generación de aleaciones “a medida”, del proceso de combustión y de la naturaleza de las turbulencias. Si la ciencia pudiera proporcionar respuesta a estos problemas, los costes de desarrollo se reducirían notablemente, evitándose buena parte de las costosas actividades experimentales.

Resulta menos patente que el progreso científico depende de modo creciente de la Tecnología: ésta y la propia actividad productiva, afrontan dificultades, problemas inesperados, observaciones anómalas, que identifican claramente campos de investigación. En definitiva, la Tecnología, la propia actividad de producción, aporta una enorme cantidad de problemas relevantes, de datos a analizar.

En sentido inverso, el impacto de la Ciencia sobre la Tecnología no debe considerarse sólo en términos de las contribuciones de la ciencia *reciente*: existe un inmenso *pool* de conocimientos que alimenta el desarrollo tecnológico. Por otra parte, es patente la existencia de importantes retrasos entre un descubrimiento científico y sus aplicaciones, a causa de la necesidad de desarrollos tecnológicos complementarios y a que las tecnologías necesarias no pueden surgir únicamente, “por deducción”, del propio desarrollo científico.

Por otra parte, la investigación tiene cada vez más un carácter *pluridisciplinar*. Señala que la capacidad de dar respuesta a este nuevo reto jugará un importante papel en la determinación del futuro liderazgo en el campo de las industrias de alta tec-

nología. Expone varios ejemplos: la medicina y los productos farmacéuticos, entre otros. De la medicina destaca que cada vez con mayor intensidad vive de la biología, de la genética y de la química, pero también de la física nuclear (la resonancia magnética, los trazadores radioactivos, etc.), la electrónica, la ciencia de los materiales y la ingeniería<sup>13</sup>.

#### 4. Innovación, difusión y transferencia.

*4.1 Caracterización de la innovación.* Obviamente, la conceptualización de la innovación (tecnológica) ocupa un lugar importante en la obra de Rosenberg. Su enfoque más sistemático se resume del modo siguiente, en un trabajo conjunto con S.J. Kline (1986,h): “El éxito de la innovación requiere un empeño que equilibre las exigencias del nuevo producto y las de su proceso de producción, las necesidades del mercado y los requerimientos del mantenimiento de una organización que pueda continuar sosteniendo de modo efectivo todas estas actividades” (1986,h) p.277; este trabajo, al igual que el artículo (1986,d) está incluido en **The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth**, (1986,g).

Nuestros autores critican el enfoque basado en la simplificación de la *caja negra*; uno de los aspectos críticos que no es puesto de relieve por el enfoque basado en la caja negra es, concretamente, el hecho de que las innovaciones, generalmente, tienen efectos positivos sobre sectores alejados de aquél en el que se han producido. Destacan, por una parte, el hecho de que las innovaciones relevantes para un sector proceden de fuentes muy diversas y, por otra, que los impactos no se producen en el marco de fronteras precisas, sino de límites borrosos de industrias<sup>14</sup>.

*Modelos de innovación.* Ante estas características de la innovación no es de extrañar que nuestros autores rechacen lo que denominan el “*modelo lineal*”, caracteri-

13. Nuestro autor señala que, a menudo, las exigencias de un instrumento actúan como un poderoso elemento inductor de la interdisciplinariedad, ya que ésta es una condición de su uso eficaz (1993), p. 343. En relación con la instrumentación, en otro trabajo posterior destaca que “*la emergencia y la difusión de nuevas tecnologías de instrumentación (...) son consecuencias centrales y escasamente analizadas de la investigación básica en las universidades*” (1992,b), p. 381.

14. En otra contribución a la misma obra (1986,d), Rosenberg se pregunta “¿Por qué, de modo consistente, nuestro trabajo es tan pobre cuando intentamos anticipar los efectos del cambio tecnológico? ¿Por qué nuestra estructura intelectual para reflexionar sobre el modo según el que la tecnología transforma nuestras vidas resulta ser tan obviamente inadecuada?” (1986,d) p.17. Nuestro autor destaca, en primer lugar, que –con limitadas excepciones– las corrientes dominantes en la teoría económica clásica y neoclásica han otorgado escasa atención al cambio tecnológico: es un esbozo de respuesta inicial. Otro elemento relevante lo constituye la especialización de los expertos y el hecho de que, ciertas innovaciones implican discontinuidades; en consecuencia, se tiende a analizar en términos de continuidad y ello no facilita el análisis de la novedad. El elemento crucial, no obstante, lo identifica Rosenberg en el hecho de que el análisis de las implicaciones de las innovaciones radicales no afectan únicamente a los rendimientos tecnológicos, sino también a su “*potencial económico y a su significado social*” (1986,d) p.25. Este es, ciertamente, el factor crucial de la dificultad enunciada en las preguntas iniciales.

zado por la secuencia investigación/ desarrollo/ producción/ marketing. El modelo lineal se distingue también por la ausencia de retroalimentación entre las distintas etapas, lo cual sólo sería admisible si los agentes fueran omniscientes, sin limitaciones de información o bien con una capacidad de aprendizaje inmediata, etc. Otra dificultad del modelo lineal “*deriva del hecho de que el proceso central de la innovación no es la ciencia sino el diseño*”.

La alternativa que proponen nuestros autores es el denominado “*modelo conectado en cadena*”<sup>15</sup>. Los diversos elementos –entre las que existen relaciones de retroalimentación– son: *a)* el mercado potencial; *b)* el invento y/o la producción de un diseño analítico; *c)* la producción de un diseño detallado y su verificación; *d)* el rediseño y la producción y *e)* la distribución y el mercado. Las cuatro últimas etapas se hallan solapadas por la investigación y el conocimiento.

Existen diversas trayectorias, distintos caminos que conducen a completar el proceso global: la trayectoria central permite pasar de una fase a la siguiente, secuencialmente, sin retrocesos; otras comportan retroalimentación con la fase anterior o bien con las anteriores. Existe otra conexión que se activa desde la ciencia a la invención o al diseño. Lo común es recurrir al stock de conocimientos científicos acumulados y sólo cuando éste no resulta suficiente, desarrollar actividades de producción de nuevos conocimientos<sup>16</sup>. La última trayectoria es la retroalimentación que conecta los productos de la innovación con la ciencia; el caso más paradigmático es el de la instrumentación.

4.2 *Las fuerzas de la demanda y la innovación.* Veamos seguidamente la posición de Rosenberg (1979,b) quien realiza un balance de un amplio conjunto de estudios empíricos. La tesis de Rosenberg puede considerarse resumida en las siguientes tomas de posición: “*Obviamente, nuestro propósito no consiste en negar que la demanda de mercado juega un papel indispensable en el desarrollo de las innovaciones que se desarrollan con éxito. Más bien, afirmamos que el papel de la demanda ha sido exagerado y mal concebido, de lo que derivan posibles serias consecuencias para nuestra comprensión del proceso innovativo y las políticas públicas alternativas adecuadas para impulsar la innovación*” (1979,b)p.196.

Más adelante formula una fuerte crítica al conjunto de trabajos que privilegian el papel de la demanda. Las principales conclusiones que presenta nuestro autor, en este trabajo, son las siguientes: “*la primacía de las fuerzas de la demanda del mercado simplemente no ha sido objeto de demostración. A un nivel más general, sin embargo, la debilidad de la amplia base conceptual de dichos estudios resulta manifiesta; el uso acrítico de la demanda de mercado como la influencia central en el proceso de inno-*

15. “Chain linked model”, en la literatura anglosajona.

16. El papel de la ciencia como *pool* acumulativo y el papel de la *frontera* de ciencia son analizados con más detalle en Rosenberg (1991,a). Sobre el creciente papel de la ciencia en el proceso de innovación, véase (1982,j); a la vista de lo expuesto hasta aquí, este papel más importante resulta evidente que no debe interpretarse en términos de un papel exógeno.

*vacación no proporciona visiones útiles relativas a las complejidades del proceso.*” (1979,h) p.235.

Nuestro autor sostiene, pertinentemente, que el aspecto central es por qué una innovación aparece en un período determinado y no en otro. Desde su punto de vista la respuesta se halla relacionada con *cambios* en las condiciones de demanda o de oferta. Y, por otra parte, con los costes diferenciales que exige desarrollar distintas ramas del saber científico y teórico. La Ciencia y la Tecnología o mejor dicho –las Ciencias y las Tecnologías– poseen distintos costes de desarrollo: este hecho crucial es a veces olvidado, siendo realmente crucial, puesto que –al igual que en la invención, e incluso con mayor motivo– condiciona fuertemente la estructura de la oferta potencial o real.

4.3. *Difusión y transferencia.* Rosenberg concibe y analiza el proceso de producción de un invento como un proceso progresivo, de solución acumulativa de problemas básicos o colaterales, hasta que se dispone de un ejemplar razonablemente operacional (1972,b); la viabilidad económica está aún por demostrar<sup>17</sup>. La solución de dichos problemas es algo fundamental, tanto para la viabilidad económica como para la rapidez del proceso de difusión.

Otro aspecto crucial lo constituye la difusión entre los usuarios de la capacidad de utilizar eficazmente la innovación y, por otra parte, la creciente capacidad de los fabricantes de las máquinas precisas para producir la innovación; de aquí el papel crucial de la industria de bienes de capital. Resulta también relevante la disponibilidad de las tecnologías complementarias necesarias. Otro aspecto lo constituye la respuesta de las tecnologías que se pretenden substituir: la nueva juega a veces un papel de estímulo. Este es el caso de la energía hidráulica frente a la máquina de vapor y del barco de vela frente a la competencia del barco de vapor.

.....

Cuando analiza la problemática de la transferencia (1970,b), nuestro autor parte de una balance crítico de la experiencia de transferencia de tecnología a los países pobres. Se propone analizar los problemas actuales a partir del análisis de la experiencia del siglo pasado; el centro del análisis lo constituye el papel de la industria de bienes de capital.

Cuando la distancia era un factor importante, la migración de personal cualificado constituía un factor clave<sup>18</sup>; así se inició la experiencia del Arsenal de Enfield y así se instaló Colt en Londres. Está documentada la existencia de un flujo importante de trabajadores ingleses al Continente. Este hecho pone de relieve que los conocimientos re-

17. En su ‘‘Comentario’’ contenido en (1970,a), nuestro autor indica que el trabajo analizado ‘‘le sugiere que lo que denominamos ‘transferencia’ (o ‘difusión’), a menudo implica actividades que son muy difíciles de distinguir, de cualquier modo relevante, de las que comúnmente denominamos ‘innovación’’; (1970,a) p. 482.

18. Cuando el Gobierno británico importó maquinaria norteamericana para producir armas en el Arsenal de Enfield, se vio obligado a contratar a un elevado número de mecánicos americanos.

levantes no eran, con frecuencia, relativos a información codificada sino que se adquirirían con la experiencia, en especial en el campo de la maquinaria especializada, susceptible de realizar un reducido número de procesos en un elevado número de industrias<sup>19</sup>. Rosenberg señala que “*Los países que descansan en la importación de una tecnología extranjera están privados de esta experiencia, pero pueden ser asequibles a otras alternativas institucionales*”; menciona, en especial, *las empresas multinacionales*” (1970,b) p.175.

En definitiva, la pregunta clave es cómo se producirá el aprendizaje entre los importadores. La respuesta surge de un enfoque no schumpeteriano: son precisas múltiples adaptaciones técnicas, a las preferencias de los usuarios, etc., todo lo cual exige cualificaciones, plantea problemas de comunicación<sup>20</sup>; estos son los campos del aprendizaje cuando ya existen países con industrias de bienes de capital consolidadas.

Al analizar las transferencias de tecnología (1982,h) en estas últimas décadas, la conclusión del análisis histórico, introductorio al caso inglés, es la siguiente: “*la perspectiva histórica sugiere que la cuestión central no es si las tecnologías industriales se transferirán, sino, más bien, cuándo y dónde tendrá lugar y qué tecnologías se transferirán, cómo se modificarán durante el proceso y cuán rápidamente este proceso se producirá*” (1982,d) p.267.

Por otra parte, los elementos básicos que gobiernan el proceso desde el punto de vista del país receptor es su capacidad de asimilación, o sea, su capacidad de proceder a una elección inteligente así como a las adaptaciones necesarias a las condiciones locales<sup>21</sup>. En este contexto, nuestro autor señala la novedad que supone la empresa multinacional, con su capacidad de transferir paquetes completos que incluyen la tecnología, la organización, el marketing y la financiación.

.....

Nuestro autor, en colaboración con C.Frischtak, es el recopilador de la obra colectiva (1985,b) *International Technology Transfer: Concepts, Measures and Comparisons*, Praeger, New York, 1985. Su Prefacio contiene precisiones relevantes sobre la naturaleza de la tecnología y sus implicaciones sobre el proceso de transferencia (1985,b)p.vii. Concretamente, señalan que “*Este conocimiento (tecnológico), que resulta de su experiencia acumulada en el diseño, la producción y las actividades de inversión es, en su mayor parte tácito, es decir, no se explicita en ninguna colección de proyectos ni manuales. Se adquiere en las actividades de resolución de problemas y de*

19. “*La industrialización en el siglo XIX suponía la adopción creciente de una tecnología de utilización del metal que empleaba fuentes de energía descentralizadas*”; (1976,d) p. 174.

20. La agricultura plantea una problemática especial, dado que su dependencia de las condiciones locales hace de la adaptación una condición indispensable del éxito.

21. Rosenberg señala que los países a los que se exportaron las primeras tecnologías de la industrialización, desde Inglaterra (USA, Canadá, etc.) cumplían esta condición, gracias al nivel medio educativo vigente. El caso japonés —con toda su gama de especificidades— cumple también esta condición.

*dificultades en el seno de la empresa, permaneciendo pues en un estado substancialmente no codificado*". Esta concepción de la tecnología, de nuevo, nos aleja de la visión infecunda del conocimiento tecnológico como un bien público con coste de adquisición nulo.

## 5. El sistema I+D. Política científica y tecnológica.

La *presentación* que realizan Mowery y Rosenberg del contenido de su libro *Technology and the pursuit of economic growth (1989,b)*, subraya que: "*La innovación tecnológica ha sido uno de los más importantes factores que han contribuido al crecimiento del empleo y de las rentas en la economía USA. Sin embargo, los factores institucionales y organizativos que dan lugar a diferencias entre las naciones y las empresas en relación con el rendimiento innovativo no son bien comprendidos*" (1989,b) p.vii. Buena parte de la obra se destina a describir y analizar dichos aspectos institucionales y organizativos, referidos a los USA y a otros países<sup>22</sup> y a extraer sus implicaciones sobre la dinámica de la innovación en los diversos países analizados.

Por otra parte, y a nivel metodológico, nuestros autores precisan que: "*En especial, ha parecido patente a los autores que el marco intelectual empleado durante mucho tiempo por los economistas para analizar dichas cuestiones es claramente inadecuado. Por encima de todo, es incompleto*" (1989,b) p.vii.

*Ciencia, tecnología y laboratorios.* El período posterior a 1859 fue<sup>23</sup>, en los USA, un período de importantes desarrollos científicos y también de innovación generalizada; no obstante, la aplicación de los avances científicos fue lenta, tardó en madurar. Incluso cuando el avance científico tenía impacto, las mejoras complementarias necesarias para su traducción efectiva raramente dependían de la ciencia. El carácter elemental de los conocimientos científicos necesarios para desarrollar innovaciones en este período en la metalurgia y en la industria de las máquinas herramientas cambió, aumentando en complejidad con las aplicaciones de la electricidad y la nueva industria química. No fue un proceso limitado a algunos sectores sino, por el contrario, muy amplio y general.<sup>24</sup>

En este nuevo contexto, los laboratorios de análisis de materiales y de control de calidad fueron los primeros que, a nivel de fábrica, emplearon científicos e investigadores. Más tarde se desarrollaron los centros industriales de investigación con cometi-

22. Básicamente Gran Bretaña y el Japón.

23. Más concretamente, el período 1859-1874; véase el Cap.2 de (1989,h). El período 1860-1914, caracterizado por el creciente papel de la ciencia, ha sido analizado por Rosenberg en (1982,j): se trata del período de consolidación de la Primera Revolución Industrial y del surgimiento de industrias totalmente nuevas (electricidad, motor de combustión, etc.). A pesar de la creciente relación con la ciencia, Rosenberg subraya que "*la investigación científica reciente se hallaba débilmente conectada con la innovación*" (1982,j) p. 238

24. Para fundamentar su posición, nuestros autores analizan la metalurgia, la construcción, enlatado, molido, envasado de carne y las actividades relacionadas con el control de materiales.

dos más amplios y a nivel de empresa. Por otra parte, en el período 1900/40 surgieron unos 350 laboratorios de investigación independientes. Su grado de especialización y las economías de escala les daban ventaja respecto a los laboratorios propios de las empresas; por el contrario, la existencia de fuertes interdependencias entre la investigación y las restantes funciones de la empresa otorga ventaja al laboratorio interno. Sobre esta base se delimita el campo del contrato externo; éste exige, por otra parte, de la empresa cliente la capacidad de diseñar, efectuar el seguimiento y evaluar el contrato.

Por otra parte, *“la investigación industrial en los USA se caracterizaba por un rasgo particular que la distinguía, por lo menos en cierta medida, de los patrones de la Europa Occidental. Una fracción importante de la investigación financiada privadamente se realizaba en el seno de la empresa y no en las Asociaciones industriales u otras modalidades”*<sup>25</sup>.

La Segunda Guerra Mundial transformó el sistema americano de investigación y desarrollo; el gobierno federal aumentó extraordinariamente su papel en la financiación de la investigación industrial y universitaria manteniendo, sin embargo, las organizaciones no públicas el grueso del trabajo de ejecución.

*Los “spillovers tecnológicos”*. El desarrollo del papel del gobierno federal, en especial en el sector militar, plantea el tema de la intensidad de los efectos “spillover” tecnológicos de la I+D militar al sector civil. Según nuestros autores, la similitud de los requerimientos técnicos de los sistemas militares y civiles se halla en la base de la existencia de spillovers potentes. Por el contrario, cuando se produce una fuerte diferenciación, la magnitud de los efectos disminuyen. Así, cuando la aviación militar de combate exige velocidades supersónicas, los efectos sobre la aviación civil –subsónica–, de los efectos spillover se han reducido de modo significativo; otros ejemplos sig: Satélites de comunicaciones y circuitos integrados de alta velocidad (1989,b) pp.148/49<sup>26</sup>.

En relación con la metodología, nuestros autores precisan que, *“Los capítulos de este libro no desarrollan una teoría alternativa completa de la innovación; ciertamente, las visiones que se plantean complementan las propias del marco neoclásico”* (1989,b) p.3. Su punto de vista les conduce a poner el acento, no tanto en las condiciones de apropiabilidad de los rendimientos económicos resultantes –propio del enfoque neoclásico– como en las condiciones de utilización. En definitiva y en otras palabras: *“Más que centrarse exclusivamente en las condiciones que afectan a la oferta de investigación y desarrollo, nos interesamos por la utilización de los descubrimientos de la investigación y su traducción en términos de innovación comercial”* (1989,b)p.3.; dicho de otro modo, del conjunto del proceso analizado en [4.1].

*Las empresas y la investigación básica.* Este tema ha sido analizado también en

25. Las Asociaciones Industriales son, para el período de referencia, características del sistema inglés; véase (1989,h) p.96.

26. El tema de los spillovers del I+D militar sobre el sector civil ha sido analizado en (1987,c); este estudio contiene un análisis de la polémica “Strategic Defense Initiative”.

(1988,d); el enfoque neoclásico induce a concluir que la empresa privada no se halla objetivamente interesada en realizar investigación básica; ahora bien, como señala Rosenberg, esta posición contradice la evidencia empírica, por lo menos la correspondiente a los USA<sup>27</sup> en lo relativo al peso real de las empresas privadas en la investigación básica.

Las explicaciones basadas en la apropiabilidad no son convincentes, puesto que no es indispensable que la empresa capture la totalidad de los beneficios: basta con que pueda apropiarse de una parte que considere suficiente. Por otra parte, existen, en determinadas circunstancias, ventajas para las empresas que "dan el primer paso" ya que pueden aprovechar con mayor intensidad los efectos de la curva de aprendizaje o bien, por ejemplo, adquirir la localización más ventajosa o monopolística.

Por otra parte, y especialmente en las industrias de alta tecnología, las empresas necesitan desarrollar investigación básica para comprender mejor sus actividades más aplicadas, así como para poder evaluar sus resultados, sus implicaciones y, finalmente, para poder efectuar un seguimiento de la investigación que se está realizando y que es, potencialmente, de su interés. En definitiva, los resultados de la investigación básica no deben concebirse como un bien público que se halla disponible en las estanterías, a la espera de lectores interesados<sup>28</sup>; son precisos numerosos desarrollos posteriores.

*De 1980 a nuestros días.* El sistema I+D que emergió en la postguerra no sufrió grandes cambios durante el período 1945-1980. En los años setenta y especialmente en los ochenta surgen desarrollos que presionan a cambiar el sistema I+D. La apertura comercial, la mayor competencia de los países europeos, el Japón y los NICs.<sup>29</sup>; el desarrollo de las barreras no tarifarias y el desarrollo de poderosos instrumentos de transferencia tecnológica, como es el caso de la empresa multinacional, constituyen poderosos elementos que propulsan la transformación del sistema de I+D. El caso del Japón y el surgimiento de formas de colaboración internacional en el campo del I+D presentan un interés especial y son objeto de un análisis especial por parte de nuestros autores.

## 6. Recursos naturales, energía.

El trabajo (1971,b) insiste en la creciente importancia de los efectos externos, definiendo una actitud prudente frente a ciertos purismos ecológicos que pueden tener con-

27. Por ejemplo, en 1985, la industria realizaba el 20 % de la investigación básica (y las Universidades el 48 %). Nuestro autor precisa que la investigación básica objeto de análisis se halla concentrada en grandes empresas de un reducido número de sectores industriales.

28. Aquí concluye la referencia al trabajo (1988,d).

29. Sobre el Japón véase (1989,b) Cap. 8. Véase asimismo (1989, a), centrado en la empresa japonesa como institución innovadora. Por otra parte, en (1988,e) subraya que el resultado del énfasis puesto en el 'Desarrollo' se ha concretado en la capacidad de las empresas japonesas de comercializar, en primer lugar y con éxito, a pesar de que habían sido inventados en otro país: televisión en color y otros elementos de electrónica de consumo, fotocopiadoras, faxes, impresoras de ordenador, etc. Nuestro autor analiza con mayor detalle diversos casos, en especial, el vídeo (VCR), los circuitos integrados (en especial, las memorias RAM). Sobre los NICs véase (1989) Cap. 8, así como (1990,c).



secuencias más graves que las que pretenden evitar, y concluye afirmando que “no existe ningún problema serio respecto a nuestra posesión de la capacidad tecnológica para alimentar esas cifras previstas (de población) en el futuro. Esto no significa negar que la reducción en los índices de crecimiento de población es muy deseable, sino afirmar sólo que la inanición masiva ya no es uno de los peligros inminentes” (1971,b) p. 251.

El trabajo posterior (1976,d) está mucho más elaborado. Analiza la posición de Malthus, Ricardo y movimientos posteriores con implantación en los USA. Su diagnóstico es claro: “Los modelos clásicos no han logrado realizar predicciones notables, fundamentalmente, porque adoptaron una noción demasiado estática del significado económico de los recursos naturales y porque subestimaron de forma drástica el grado hasta el cual el cambio tecnológico podía compensar, superar o proporcionar sustitutos para los recursos naturales cada vez más escasos” (1976,d) Cap. 13, p. 258. En este marco, una cuestión central es la relativa a la medición de los stocks de recursos naturales disponibles. “Las definiciones de recursos puramente físicas o geológicas, aun cuando sean exhaustivas, no son muy interesantes” (1976,d)p. Cap. 13, p. 267.

Desde estas posiciones iniciales critica la aportación de estudios como *The Limits of Growth* y *World Dynamics*. Señala que un rasgo fundamental de los modelos es la carencia de cualquier mecanismo de reacción socio/económica a la creciente escasez de recursos, o de determinados recursos, mediante su reflejo a través del alza de los precios correspondientes. Nuestro autor precisa que no pretende afirmar que los problemas suscitados no tengan importancia (“muy al contrario”); lo que sí sostiene es que sus hipótesis simplistas desvían la atención de cuestiones reales aunque tengan apariencia más modesta.

Otro trabajo (1973,b)<sup>30</sup> esboza las respuestas a la escasez de materiales. Sostiene que la respuesta más efectiva a la escasez de materiales radica en el cambio tecnológico. Este, como sistematiza Rosenberg, ha operado incidiendo de diversos modos, entre ellos: “1) Aumento de la producción por unidad de aporte de recursos ..... 2) Desarrollo de materiales totalmente nuevos: fibras sintéticas, plásticos, etc. 3) Elevación de la productividad del proceso extractivo; 4) Aumento de la productividad del proceso de explotación y descubrimiento de recursos; 5) Desarrollo de técnicas de reutilización de materiales sobrantes y de desecho; 6) Desarrollo de técnicas para la explotación de recursos de menor grado u otros más abundantes” (1973,b) p. 281.

El tratamiento más completo del tema se halla contenido en Rosenberg (1980,b), en donde señala que para analizar las diversas capacidades tecnológicas de los distintos países es relevante no sólo la tasa de cambio tecnológico sino más bien la forma en la que sirve para adaptarse. Esto es así, en especial, en relación con el tema de la disponibilidad de recursos naturales.

30. Véase (1973,b), Cap. 14; incluido en (1976,d). Como el propio autor señala, reproduce pasajes de (1972,a).

La historia de los USA ofrece numerosas lecciones sobre esta cuestión. Existían unas abundancias y unas escaseces específicas; durante la primera etapa caracterizada por la importación selectiva de tecnologías (básicamente inglesas) dió lugar a posteriores adaptaciones en respuesta a la dotación de recursos y a las características del entorno natural; éstas, en general, puede decirse se hallaban destinadas a adaptarse a una dotación intensiva en recursos naturales (y, en especial, madera).

La agricultura se caracterizaba por un elevado ratio tierra/trabajo; muchas innovaciones perseguían pues aumentar la superficie cultivable por trabajador. A lo largo del siglo XX la tierra se transformó en más escasa y tomaron el relevo las aplicaciones de la biología, como nuevas variedades de semillas o el uso de fertilizantes. La metalurgia ha ido ampliando su base de recursos; de la madera al carbón; del mineral no fosforoso (tecnología Bessemer) a variedades casi sin restricciones (tecnología Siemens Martin) y, posteriormente, a la utilización de chatarra (tecnología horno eléctrico)<sup>31</sup>. Por otra parte, en los USA, el progresivo agotamiento de los minerales de hierro de alto contenido indujo a la explotación de variedades menos ricas, previo desarrollo de las tecnologías adecuadas: de este modo se pudieron aprovechar los grandes yacimientos de taconita, antes sin valor económico.

Nuestro autor se pregunta si, a la vista de las respuestas analizadas ante la variación de la escasez, existen fundamentos para el pesimismo. Su diagnóstico relaciona la visión optimista con la existencia de una importante capacidad de adaptación a condiciones variables o bien a la disponibilidad de amplias posibilidades de sustitución. Los modelos del Club de Roma excluyen el cambio tecnológico, el descubrimiento de nuevos recursos o de nuevas posibilidades de sustitución o cualquier respuesta del sistema de precios. Nuestro autor modula su razonado optimismo en función de la rapidez del ajuste necesario, en función del tiempo preciso para proceder a las innovaciones necesarias que permitan las adaptaciones requeridas.

El trabajo (1982, a) se halla centrado en el análisis de la eventual existencia de una barrera inexorable impuesta al crecimiento y debida a la escasez de recursos naturales. No se trata de discutir si existen o no límites al crecimiento, pues es obvio que existen – afirma Rosenberg – sino de especificar el aspecto temporal.

Es indispensable introducir el cambio tecnológico, en tanto que mecanismo de *adaptación* a las necesidades cambiantes, a los retos sucesivos y, en especial, a las escaseces de recursos naturales. Nuestro autor subraya que el cambio tecnológico no sólo sirve para la adaptación sino que juega un papel crucial en la redefinición y en la ampliación de la base de recursos. Hace un siglo, el petróleo carecía de interés económico: era únicamente una realidad geológica; por otra parte, el petróleo submarino sólo se ha transformado en un recurso económico

31. Como es bien conocido, la posibilidad de utilizar mineral fosforoso hizo viable la explotación efectiva de los recursos existentes en Alemania, Francia y Bélgica, lo cual provocó importantes modificaciones geopolíticas en el Continente.

cuando se ha sido capaz de resolver los problemas asociados a la construcción de plataformas marinas.

Se pregunta por qué se extiende el pesimismo<sup>32</sup>. El impacto de los informes del Club de Roma se caracterizan por la ausencia de capacidad de ajuste y la exclusión de nuevas tecnologías: sobre esta base resulta imposible fundamentar otra visión de futuro.

.....

El sector energético ha sido objeto de diversos análisis por parte de nuestro autor<sup>33</sup>. En un trabajo reciente (1994,e), Rosenberg destaca que la lentitud en la adopción de tecnologías ahorradoras de energía se explica por el hecho de que la mayor parte de tecnologías energéticas se hallan incorporadas a activos de larga duración (viviendas, fábricas, etc.).

Por otra parte, sostiene que no hay por qué esperar que la mejora de la eficiencia energética conlleve una reducción del consumo de energía (o una reducción de los impactos ecológicos): en los sectores intensivos en energía, el aumento de eficiencia –cuando va acompañado de la reducción de costes– puede dar lugar a un aumento del consumo, según el valor de la elasticidad precio del producto; Rosenberg analiza el caso del proceso Bessemer, que dio lugar a un incremento en la utilización del acero.

Nuestro autor destaca que un rasgo central de la mejora de eficiencia energética no puede analizarse en términos genéricos, sino que debe plantearse en términos de energías dotadas de características concretas y de prestaciones específicas, así como de nuevas tecnologías que abren la puerta a nuevas fuentes de energía; este rasgo dificulta las posibilidades de sustitución entre energías. De aquí que se deba ser cuidadoso al manejar la energía como un agregado pues puede inducir a análisis erróneos.

## 7. Análisis sectoriales

7.1 *La industria de máquinas herramientas.* Nuestro autor realiza un análisis<sup>34</sup> de las condiciones del surgimiento y desarrollo de la industria de máquinas herramienta en los USA (1840-1910). Pone de relieve el hecho de que en el mecanizado de los metales el cometido de las máquinas consistía en realizar un número determinado de operaciones concretas (torneado, cepillado, taladrado, fresado, etc.), lo cual planteaba un cierto número de problemas comunes: transmisión de la energía, reducción de la fricción, etc.). A pesar de la diversidad de los productos finales, del carácter común de las operaciones y de los problemas a resolver estableció las condiciones de una serie de desarrollos complementarios.

32. Recuérdese que estamos comentando una publicación de 1982.

33. Véase asimismo (1980,a) y (1982,e).

34. Véase (1963,b). El artículo (1975,a) está centrado en la maquinaria para el trabajo de la madera.

Es por ello que la industria de máquinas herramientas jugó un papel singular en la solución de problemas y en la difusión de las soluciones a diversos sectores, distintos de aquél en el que había surgido. Una sucesión de industrias particular: la industria de las armas de fuego, de la máquina de coser, de la bicicleta, etc. hicieron madurar las máquinas herramientas, las cuales habían alcanzado la necesaria madurez para hacer frente al reto singular del surgimiento de la industria del automóvil. Se trata de un caso patente de transferencia tecnológica a partir de la industria de las máquinas herramientas que ha operado como polo difusor.

7.2 *La industria química de proceso.* La industria química de proceso (1991,c) ofrece amplias potencialidades económicas; una de ellas – siempre destacada– consiste en la posibilidad de producir productos a costes mucho más reducidos, como fue el caso del amoníaco, mediante el proceso Haber/Bosch.

En el caso de los USA la abundancia de petróleo dio lugar a una evolución dependiente de la trayectoria concreta vinculada al petróleo, que permitió acumular experiencia en los métodos de proceso continuo asociados a otros productos.

Fue seguramente la magnitud de los mercados potenciales lo que indujo a desarrollar plantas de dimensiones crecientes; conviene destacar que este modo de capturar economías de escala posee condicionantes técnicos estrictos pues su desarrollo exige disponer de las tecnologías, materiales, medios de regulación, etc. adecuados; dicho de otro modo, no se trata simplemente de modificar al alza las dimensiones.

Rosenberg destaca el importante papel que en el período de la segunda postguerra han jugado las empresas especializadas en ingeniería química, dotadas de capacidad de diseño, de redes de subcontratistas, etc. y operando para múltiples clientes; de este modo han podido explotar importantes economías de especialización, así como acumular experiencia relativa a una amplia variedad de condiciones de explotación.

Otro trabajo sobre la industria química (1992,f) está centrado –como el resto de investigaciones que constituyen la obra colectiva **Technology and the Wealth of Nations** (1992,e) de la que Rosenberg, N., Landau, R. y Mowery, D.C. son los compiladores–, en el análisis del proceso de comercialización de las nuevas tecnologías y sus condiciones de éxito; este aspecto constituye actualmente –en opinión de nuestros autores– el cuello de botella de la acción innovadora de las empresas norteamericanas.

7.3 *Telecomunicaciones.* Rosenberg –sólo o en colaboración– ha analizado la dinámica del cambio tecnológico en otras industrias punta, como es el caso de la aviación (1982,k), (1982,l), (1989,b) Cap.7 o de los semiconductores (1980,f). En su último libro incluye un trabajo sobre la industria de las telecomunicaciones (1994,f).

Nuestro autor precisa que gran parte del trabajo pretende contestar las siguientes preguntas: “¿Cuáles son los aspectos distintivos de la industria de las telecomunicaciones? ¿Cuáles de estos aspectos deberían jugar un amplio papel en el modo de estructurar nuestro pensamiento sobre su desarrollo futuro?” (1994,f) p.205. Los rasgos singulares que destaca son los siguiente: a) dependencia de la trayectoria (*path depen-*

dence); b) la naturaleza de sistema; c) el papel de la investigación y el desarrollo y d) el papel de la política gubernamental.

*El carácter dependiente de la trayectoria* histórica se refleja básicamente en la irreversibilidad de determinadas decisiones tecnológicas, así como en la necesidad de compatibilidad de los nuevos equipos con el stock ya existente. Existe un alto grado de incertidumbre en relación con los desarrollos futuros, especialmente cuando éstos se plantean fuera del contexto de compatibilidad con los sistemas vigentes. Una trayectoria puede haberse mostrado mejor que otras en las primeras fases exploratorias y ciertas decisiones iniciales pueden haber conducido a elegir trayectorias que, posteriormente, no han resultado ser las óptimas; por otra parte, el coste de cambiar de una tecnología a otra puede ser enorme. Este es el caso derivado de la elección prematura del standard televisivo en los USA, así como el caso de la Televisión de Alta Definición. Los europeos decidieron más tarde pero tomaron caminos más acertados, sostiene Rosenberg.

Por su propia naturaleza los sistemas de telecomunicaciones poseen un extremo carácter de *sistema*, siendo el caso límite el sistema telefónico, caracterizado por la utilización simultánea por diversos usuarios de una misma red: de las líneas privadas –punto a punto– a la red interconectada y dotada de elementos de conmutación: la historia muestra la creciente complejidad del sistema, con las exigencias de compatibilidad entre los diversos elementos componentes. En el desarrollo histórico de la telefonía, el salto cualitativo lo constituyó la articulación de una red por medio de los centros de conmutación; salto en las prestaciones y también en la inversión necesaria.

Nuestro autor destaca el hecho de que “*la historia de la industria de las telecomunicaciones es la historia de (...) discontinuidades tecnológicas y de sus impactos inesperados, difíciles de evaluar. Los dos elementos centrales de esta industria, el teléfono y la radio, son ejemplos clásicos de nuevos conjuntos de posibilidades que, de modo singular, los contemporáneos no supieron anticipar*” (1991,a)p.219. El teléfono se percibió, básicamente, como un complemento del telégrafo; la radio como un instrumento de transmisión punto a punto. Tampoco fueron acertadas las primeras evaluaciones de las potencialidades del transistor y del ordenador digital.

Rosenberg analiza la última innovación radical en el campo de la transmisión, la *fibra óptica*, cuyas ventajas se manifestaron progresivamente<sup>35</sup>. La disponibilidad de una red a larga distancia de fibra óptica supone una transformación radical que plantea con agudeza el tema de los estándares: “*la siempre presente tensión entre la estandarización de la tecnología actual y la posibilidad de una tecnología superior en el horizonte será discutida en relación con la historia de la fibra óptica en el sistema telefónico*” (1991,a) p.216.

35. La gran amplitud de banda, la alta velocidad de transmisión, la inmunidad a las interferencias, etc.

## 8. Análisis globales

8.1 *La tecnología y el desarrollo económico americano.* Rosenberg explica claramente el objetivo de esta breve pero densa obra, *Technology and American Economic Growth* (1972,a), que, en cierto modo, es la primera expresión sintética del despliegue de su método, de su enfoque: “*Su finalidad principal, ..., consiste en proporcionar una estructura interpretativa en el seno de la cual podemos ampliar nuestra comprensión acerca del modo según el que la tecnología ha moldeado el desarrollo de la economía Americana y, en consecuencia y de modo más general, de la sociedad Americana*” (1972,a) p.ix,x.<sup>36</sup>

*La matriz económica.* Nuestro autor destaca que, probablemente, la influencia que mayor impacto ha tenido sobre el desarrollo tecnológico de los USA haya sido la abundancia de recursos naturales, en relación con las reducidas dimensiones de su población; este rasgo ha incidido sobre buena parte de las innovaciones.

Nuestro autor destaca que las características de los inmigrantes a los USA los hacía especialmente sensibles a los estímulos económicos. Por otra parte, en los USA no existían muchas de las instituciones europeas que operaban como un freno a las transformaciones. Estos rasgos, junto con un relevante esfuerzo educativo, creó una base humana favorable para la actividad inventiva, innovadora y de adopción.

Sobre la importancia de la demanda en el ritmo de invención, se remite a los trabajos de Schmookler<sup>37</sup> que muestran la existencia de una relación entre ambos.

La descripción que realiza de la sociedad americana del siglo XIX está “*dominada por los gustos de los hogares rurales, relativamente prósperos según los estándares europeos, con una fuerte preferencia por mobiliario, bienes duraderos y equipos...*” (1972,a)p.49. La dispersión geográfica constituía un rasgo diferencial. El alto nivel de estandarización de los productos americanos puede contemplarse como una respuesta al tipo de demanda generado por este tipo de consumidor.

Nuestro autor destaca que el cambio técnico no sigue las reglas del azar, sino que es más bien, “*el resultado de ciertas capacidades de solución de problemas que ... se han concentrado fuertemente en algunos sectores específicos de la economía.*” ... “*metalurgia, máquinas herramientas, máquina de vapor y ingeniería; más tarde, en buena parte como resultado de los avances en la ciencia, este foco se desplazó a las industrias basadas en la química, la electricidad y la electrónica y, más recientemente, en aquellas basadas en la biología*” (1972,a)p.53. En definitiva, “*La industrialización de la economía americana en el siglo diecinueve se centró fuertemente en el desarrollo de la tecnología de las máquinas*” (1972,a)p.54. El desarrollo de esta tecnología se basaba en el empirismo, diversas formas de aprendizaje y una base científica limitada.

36. El trabajo (1971,a) tiene el carácter de anticipación madura del libro objeto de comentario. El artículo (1980,e) sintetiza la evolución del cambio tecnológico en los USA al mismo tiempo que profundiza en algunos aspectos concretos.

37. Posteriormente, Rosenberg publicará (1974,a).

*Adaptaciones inducidas por los precios.* Nuestro autor considera que expectativas sólidas acerca de la evolución futura de los cambios en los precios relativos pueden modificar la rentabilidad de las invenciones. Así pues: “*Estas expectativas parecen haber jugado un papel de primer orden en la ampliamente observada y comentada propensión de los americanos a favorecer la ‘invención al igual que la adopción’ de maquinaria ahorradora de trabajo*” ... “*la motivación es perfectamente general.*” *el uso de dicho input particular*” (1972,a)p.57.

*El Siglo XIX: America como prestatario.* Los USA se beneficiaron de las tecnologías básicas relacionadas con la máquina de vapor y el hierro desarrolladas en Gran Bretaña; se produjo pues un proceso de transferencia selectiva y un proceso de adaptación a las especificidades de la sociedad norteamericana<sup>38</sup>. En el período de la pre-guerra civil, la abundancia de agua en el Este, así como las amplias disponibilidades de tierra en el Oeste focalizaron la actividad inventora y empresarial en el uso de la máquina de vapor como instrumento de movilidad. Fulton dió el primer paso y la cuenca del Mississippi ofreció una extensa zona para el uso del buque de vapor fluvial; su uso se desarrolló desde comienzos de siglo al igual que el proceso de adaptación y mejora. El aprendizaje realizado pudo, posteriormente, ser parcialmente transferido al ferrocarril.

*El Siglo XIX: América como iniciador.* Los USA desarrollaron su propia tecnología industrial, designado por los ingleses como el “*American System of Manufacturing*”<sup>39</sup>. El núcleo lo constituía un grupo de empresas especializadas, productoras de bienes de capital para los restantes sectores. El diagnóstico de nuestro autor es contundente: “*Su creciente habilidad en la solución de los problemas de la producción de máquinas especializadas debería considerarse como el proceso de aprendizaje básico subyacente al proceso de industrialización del siglo diecinueve*” (1972,a)p.89.

El desarrollo de una gama de máquinas especializadas – el torno revólver, la fresadora, entre otras – capaces de operar con tolerancias estrechas, hizo posible la eliminación del ajuste manual y el consiguiente desarrollo del sistema de piezas intercambiables, en primer lugar, en la producción de armas y, posteriormente, relojes, máquinas de coser, hardware agrícola, bicicletas, etc. La industria de máquinas herramientas jugó pues un papel crucial en la solución de problemas y en su difusión, constituyéndose en un centro de transmisión de cambio tecnológico<sup>40</sup>. La culminación de este proceso lo constituye la cadena de montaje de Ford, ya en el siglo XX. El enfoque se difundió ampliamente, desde la industria eléctrica a la de la alimentación, marcando una nueva época en la producción industrial.

*El siglo XX.* El siglo XX se caracteriza por la variedad de fuentes de cambio tecnológico; por otra parte, éste depende de la disponibilidad de un conocimiento científico. Esta tendencia se empezará a manifestar ya en la segunda mitad del siglo XIX.

38. Recuérdese el análisis contenido en (1970,b).

39. Véase el conjunto de textos recopilados en (1969,a), así como la presentación de Rosenberg. véase también (1971,a).

40. Recuérdese el contenido de (1963,b), trabajo al que se ha hecho ya referencia.

Los avances realizados en la metalurgia, basados en la exploración empírica, en la prueba y error, tenían sus límites; como destaca nuestro autor, la creación de materiales sintéticos no hubiera sido posible sin el conocimiento de las estructuras moleculares. Consideraciones similares pueden formularse en relación con la electrónica o la agricultura.

La energía merece una atención especial. El análisis de la evolución del consumo energético le conduce a destacar el papel de la electrificación. La difusión del motor eléctrico permitió transformar la fábrica basada en la máquina de vapor, rígida, con sus poleas y cintas, en un nuevo diseño flexible y adaptable.

## 8.2 El proceso de transformación del mundo industrial.

El libro *How the West Grew Rich. The Economic Transformation of the Industrial World* está escrito en colaboración con L.E. Birdzell (1986,f) y constituye, probablemente, su trabajo más exigente, caracterizado por su mayor ambición sintética. A pesar de la importancia que otorgan a las causas y consecuencia no económicas, los autores califican su obra de *ensayo de historia económica* (1986,f)p.vii. Su objetivo básico consiste en explicar el hecho singular que ha ocurrido en unos pocos países como los Estados Unidos, Canadá, Australia, Japón y Europa occidental durante estos últimos doscientos años<sup>41</sup> y que ha afectado positivamente las vidas de algo más del diez por ciento superior de la población. El aspecto más intrigante del crecimiento económico de Occidente es –según destacan nuestros autores– su carácter gradual, aspecto cuya explicación sólo puede hallarse en un mecanismo institucional, profundamente enraizado en la estructura de las economías de Occidente.

Rosenberg y Birdzell proceden a analizar las explicaciones convencionales –que rechazan<sup>42</sup>– para, finalmente, proponer su propia concepción, basada en el papel de la innovación en un determinado marco institucional: “*Las fuentes inmediatas del crecimiento en el Oeste fueron las innovaciones en el comercio, la tecnología y la organización, en combinación con la acumulación de más y más capital, trabajo y recursos naturales. La innovación emergió como un factor significativo en el desarrollo de Occidente ya desde mediados del siglo quince y desde mediados del siglo diecinueve ha sido penetrante y dominante. La innovación se produjo en el comercio, la producción, los productos, los servicios, las instituciones y la organización. Las principales características de la innovación –la incertidumbre, la búsqueda, la exploración, el riesgo financiero, el experimento y el descubrimiento– han impregnado de tal modo la expansión del comercio de Occidente y el desarrollo de los recursos naturales hasta hacer de ello, virtualmente, un factor de producción adicional*” (1986,f)p.20.

41. El ámbito de estos países es el que designan por Occidente. Su horizonte temporal se inicia con la Edad Media.

42. Excluyen la explotación de las explicaciones, por cuanto –señalan– ya existía en las formas anteriores de sociedad y no ha conseguido los logros de Occidente; (1986,f), p. 20



En rigor, los efectos económicos de las innovaciones se producen por el impacto de su difusión; sería un error creer que justamente en este trabajo nuestros autores se olvidan de ello para centrarse únicamente en la innovación. Por otra parte, Rosenberg se ha centrado en el análisis de la innovación tecnológica pero al buscar una explicación global –conjuntamente con Birdzell– amplía el campo e introduce, explícitamente, otras innovaciones como las comerciales y las organizativas.

Su posición analítica privilegia el papel de la *innovación* sobre la inversión y la acumulación. La causalidad sigue la siguiente secuencia: de la innovación a las oportunidades de inversión y de éstas a la acumulación; de aquí que al referirse a las “fuentes inmediatas” del crecimiento, nuestros autores señalen la innovación.

Un análisis del papel de las empresas, los mercados y la competencia les conduce a destacar el papel de la difusión de la autoridad: *“Hemos subrayado la parte jugada por la innovación en el crecimiento de Occidente. La descentralización de la autoridad para tomar decisiones sobre las innovaciones, conjuntamente con los recursos necesarios para aplicar dichas decisiones y para absorber las ganancias y las pérdidas resultantes merece un énfasis similar como explicación de la innovación de Occidente. Esta difusión de la autoridad se hallaba enlazada con el desarrollo de un sector económico esencialmente autónomo; con el amplio uso de la experimentación para contestar cuestiones de tecnología, marketing y organización para las que no pueden hallarse respuestas de otro modo; y con la emergencia de gran diversidad en los modos de organizar la actividad económica del Oeste”* (1986,f)p.24.

En definitiva, los grandes rasgos de los procesos que dieron lugar al sistema de desarrollo económico de Occidente los resumen en los ocho puntos siguientes:

a) La emergencia de una esfera económica autónoma y de una clase mercantil. Este proceso fue posible gracias al relajamiento del control ejercido por la esfera política dominante y también por la religiosa; el proceso redujo también el poder gremial y facilitó el surgimiento de mercados;

b) La innovación por medio de la extensión del comercio y el descubrimiento de nuevos recursos;

c) La innovación por reducción de los costes de producción, en un marco de expansión del comercio y de reducción del poder de las corporaciones;

d) La innovación mediante la introducción de nuevos productos, tanto destinados al consumo suntuario como al consumo masivo que ofrecía rentabilidad (los productos textiles, por ejemplo);

e) El desarrollo de fuentes de ideas innovadoras, facilitado por la secularización, que creó un contexto más propicio al desarrollo científico y a la experimentación;

f) La incertidumbre es consustancial a la innovación y el experimento es el nuevo modo de reducir la incertidumbre;

g) Vencer la resistencia a la innovación. La debilitación de los gremios juega un papel crucial así como la descentralización del proceso innovador/ inversor;

h) La innovación en las formas de organización es tan importante como la innova-

ción tecnológica. Sin nuevas formas de empresa, de contratos, seguros, etc., la innovación tecnológica no hubiera hallado un campo propicio.

La obra analiza con detalle el desarrollo histórico, en forma de historia razonada, para fundamentar las tesis centrales que se han expuesto. El texto sigue las innovaciones –tecnológicas o no– y el impacto de su difusión, las transformaciones sociales que las inducen y aquéllas que provocan.

*Experimentos económicos.* El trabajo (1992,a) permite precisar la posición analítica central de Rosenberg sobre este tema. El argumento es el siguiente: la libertad de realizar experimentos es crucial para poder desarrollar innovaciones tecnológicas u organizativas, nuevos productos y nuevos procesos<sup>43</sup>; tan sólo la experimentación permite precisar las respuestas útiles que no se pueden deducir de unos principios básicos. Más exactamente, “... dicha libertad constituye el elemento esencial que explica el hecho de que la industrialización haya sido, exclusivamente, un producto histórico de las economías capitalistas”.

Subraya el papel central de la incertidumbre en el capitalismo, en especial en el proceso de innovación, así como el conjunto de mecanismos e instituciones desarrollados con la finalidad de reducir el riesgo y la incertidumbre a niveles aceptables<sup>44</sup>; obviamente, la reducción de la incertidumbre incrementa la propensión a experimentar. Otro rasgo indispensable para el desarrollo de experimentos lo constituye un elevado grado de autonomía respecto a cualquier forma de poder político arbitrario; es por ello que resultan importantes las formas legales para asegurar el cumplimiento de los contratos o para delimitar y hacer cumplir los derechos de propiedad<sup>45</sup>.

*Desarrollo y ondas largas.* El desarrollo objeto del análisis en [8.2] presenta –examinado con una escala temporal más reducida– una apariencia cíclica. La formulación inicial de las ondas largas producidas como consecuencia de la innovación corresponde a Kondratieff (1935)<sup>46</sup>; Schumpeter (1939)<sup>47</sup> fue –durante décadas– su solitario defensor.

Sobre el tema de las ondas largas existe un amplio espectro de posiciones. En (1983) y (1984)<sup>48</sup>, los autores no sólo se muestran críticos respecto a su evidencia histórico/empírica sino que discuten y niegan validez a lo que denominan la “lógica económica de las ondas largas”. En otras palabras: no consideran demostrada la validez de las propias condiciones lógicas de posibilidad. En sus propias palabras, nuestros au-

43. El mismo trabajo califica la libertad de realizar experimentos como “el aspecto central del capitalismo occidental”; (1994,a), p.99

44. La introducción de la responsabilidad limitada bajo diversas modalidades, la creación de la Bolsa, los seguros, etc. (1986,f), Caps. 4 a 8.

45. “En relación con ello, las revoluciones políticas burguesas de los siglos diecisiete y dieciocho fueron centrales para el éxito económico del capitalismo”; (1994,a), p.98.

46. Véase Kondratieff N.D., “The Long Wave in Economic Life”, *Review of Economic Statistics*, vol. 17 pp. 105-115.

47. Véase en Schumpeter, J.A., *Business Cycle*, McGraw Hill, New York, 1939, tanto la formulación teórica como el análisis empírico de los ciclos largos que realiza dicho autor.

48. La paginación es la correspondiente al texto en castellano.

tores se plantean el tema de “*qué condiciones hay que satisfacer para que la innovación tecnológica genere ciclos largos de la periodicidad postulada por N.D. Kondratieff y sus discípulos*” (1984) p.162.

En definitiva, se preguntan por el conjunto de exigencias lógicas que debería cumplirse para que la innovación tecnológica constituyera el factor fundamental capaz de generar “ondas o ciclos largos” de una determinada periodicidad. En concreto, analizan los siguientes requerimientos: a) causalidad; b) oportunidad; c) repercusiones sobre la economía y d) recurrencia. Se trata pues de un análisis previo a la exploración empírica, centrado en las condiciones de posibilidad.

La conclusión de nuestros autores es de extrema reserva respecto a la validez del enfoque de las ondas largas; en sus propias palabras: “*Habiendo hecho explícitas estas condiciones, nos creemos con derecho a concluir que el marco conceptual de un modelo de ondas largas en el crecimiento económico, que en su núcleo tiene el proceso de innovación tecnológica, aún no ha sido debidamente formulado. Mientras no se cree semejante modelo, seguirá estando pendiente la evaluación de su validez histórica*” (1984) p.169.

*Ciencia, tecnología y el desarrollo en Occidente.* Rosenberg (1990,b) se plantea el análisis de las “*fuentes del crecimiento de Occidente que han sido eludidas por los países menos desarrollados y por los países socialistas*” (1990,b) p.18. Nuestro autor destaca que la tecnología occidental se desarrolló en el seno de la esfera económica, mientras que la ciencia tuvo orígenes más complejos, no reducibles a una respuesta automática a las condiciones económicas.

Rosenberg señala que los países socialistas<sup>49</sup> y los del Tercer Mundo tienen acceso al stock de conocimientos existente, pero subraya que su carencia en este campo parece concretarse en “*la ausencia de la capacidad de Occidente de traducir el conocimiento científico en términos de productividad económica, una capacidad que depende de las características individuales e institucionales de las naciones*” (1990,b) p.21.

Siguiendo esta línea constata el fracaso de las economías socialistas y de los regímenes populistas; destaca la eficacia de la rivalidad del mercado, que abre las puertas a que diversas fuentes independientes exploren las fronteras de la tecnología. En definitiva, “*ninguna ley simple de la naturaleza hace de la tecnología la causa del crecimiento económico o a éste la causa del avance tecnológico... La interacción entre la gente, las instituciones económicas, el crecimiento de los mercados y la tecnología constituyen la clave*” (1990,b) p.25.

.....

*A modo de conclusión.* El análisis económico de N.Rosenberg se halla construido sobre: a) un conocimiento profundo de las tecnologías concretas y de la historia de su

49. Véase (1988,a) sobre el cambio tecnológico bajo el socialismo.

desarrollo y b) la integración del desarrollo de las tecnología en el proceso de desarrollo histórico global; es más, cuando se plantea esta problemática global, su posición se halla alejada de todo "tecnologismo" reduccionista<sup>50</sup>.

Su esquema teórico global y su enfoque resulta de gran fecundidad tanto para el historiador como para el economista analítico. Rosenberg no parte de una visión previa, global y cerrada, sino que su concepción se ha ido sedimentando a partir de un trabajo caracterizado por la continuidad y que, en consecuencia, ha hecho posible la acumulación de los resultados de trabajos monográficos y de síntesis provisionales.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1958) "Government Economic Controls in the British Building Industry, 1945-49", *Canadian Journal of Economics and Political Science*, august 1958.
- (1959) "Population Changes and Economic Development", *Orbis*, summer 1959.
- (1960,a) *Economic Planning in the British Building Industry, 1945-49*, (Published jointly in 1960 by the University of Pennsylvania Press in the U.S. and Oxford University Press in Great Britain.
- (1960,b) "Capital Formation in Underdeveloped Countries", *American Economic Review*, september 1960.
- (1960,c) "Some Institutional Aspects of the *Wealth of Nations*", *Journal of Political Economy*, december 1960.
- (1960,d) "Patents and Other Factors in the Machine Tool Industry", *The Patent, Trademark and Copyright Journal of Research and Education*, spring 1960 (en colaboración con Murray Brown).
- (1963,a) "Mandeville and Laissez-Faire", *Journal of the Historical Ideas*, April 1963.
- (1963,b) "Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-19 10, *Journal of Economic History*, december 1963; in *Rosenberg (1976,d)*.
- (1963,c) "Capital Goods, Technology and Economic Growth", *Oxford Economic Papers*, november 1963; in *Rosenberg (1976,d)*.
- (1963,d) "The United States Cycle 1820-1860, *Economic History Review*, april 1963 (en colaboración con J.R.T.Hughes).
- (1963,e) "Changing Technological Leadership and Economic Growth, *Economic Journal*, march 1963 (en colaboración con Ed.Ames).
- (1964,a) "Neglected Dimensions in the Analysis of Economic Change", *Bulletin of the Oxford University Institute of Economics and Statistics*, february 1964; in *Rosenberg (1976,d)*.
- (1964,b) "Efficiency in the Government Sector. Discussion". *American Economic Review Papers and Proceedings*, may 1964.
- (1965,a) "Adam Smith on the Division of Labour. Two Views or One? *Economica*, may 1965.
- (1965,b) "Government and Economic Growth in the United States in the Nineteenth Century", Conference of the International Economic History Association, Munich, august 1965.

50. Véase, por ejemplo, la Sección introductoria de (1982,a) y el libro (1986,f), sintetizado en [8.2].